

(12) МЕЖДУНАРОДНАЯ ЗАЯВКА, ОПУБЛИКОВАННАЯ В СООТВЕТСТВИИ С
ДОГОВОРом О ПАТЕНТНОЙ КООПЕРАЦИИ (РСТ)

(19) ВСЕМИРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
Международное бюро



(43) Дата международной публикации:
7 апреля 2005 (07.04.2005)

РСТ

(10) Номер международной публикации:
WO 2005/031756 A1

(51) Международная патентная классификация ⁷:
G21C 3/62, 21/02

(21) Номер международной заявки: РСТ/RU2003/000422

(22) Дата международной подачи:
29 сентября 2003 (29.09.2003)

(25) Язык подачи: русский

(26) Язык публикации: русский

(71) Заявители (для всех указанных государств, кроме (US). ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ «ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ НЕОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ имени А. А. БОЧВАРА» [RU/RU]; 123060 Москва, ул. Рогова, 5а (RU) [THE FEDERAL STATE UNITARIAN ENTERPRISE «A.A. BOCHVAR ALL-RUSSIA RESEARCH INSTITUTE OF INORGANIC MATERIALS», Moscow (RU)]; МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ [RU/RU]; 101000 Москва, ул. Большая Ордынка, д. 24/26 (RU) [MINISTERSTVO ROSSYSKOI FEDERATSII PO ATOMNOI ENERGIИ, Moscow (RU)].

(72) Изобретатели; и

(75) Изобретатели/Заявители (только для (US): АСТАФЬЕВ Валерий Александрович [RU/RU]; 115477 Москва, Пролетарский пр-т, д. 31, кв. 39 (RU) [ASTAFIEV, Valery Alexandrovich, Moscow (RU)];

ГЛУШЕНКОВ Алексей Евгеньевич [RU/RU]; 143000 Московская обл., Одинцово, Можайское шоссе, д. 88, кв. 46 (RU) [GLUSHENKOV, Alexey Evgenievich, Odintsovo (RU)]; СКУПОВ Михаил Владимирович [RU/RU]; 117279 Москва, ул. Генерала Антонова, д. 4, корп. 2, кв. 132 (RU) [SKUPOV, Mikhail Vladimirovich, Moscow (RU)]; СТОЛЯРОВ Михаил Иванович [RU/RU]; 111394 Москва, ул. Новогириевская, д. 54, кв. 230 (RU) [STOLYAROV, Mikhail Ivanovich, Moscow (RU)]; ШКАБУРА Игорь Алексеевич [RU/RU]; 123103 Москва, ул. Паршина, д. 19, кв. 86 (RU) [SHKABURA, Igor Alexeevich, Moscow (RU)].

(74) Агент: ФОРСТМАН Владимир Александрович; 123060 Москва, а/я 369, ВНИИМ (RU) [FORSTMAN, Vladimir Alexandrovich, Moscow (RU)].

(81) Указанные государства (национально): CN, GB, JP, RU, US.

(84) Указанные государства (регионально): европейский патент (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

Опубликована

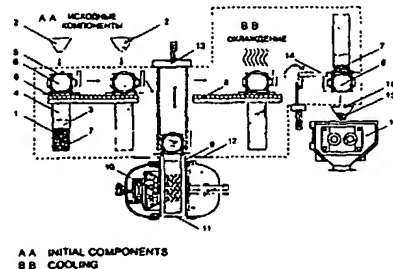
С отчётом о международном поиске.

В отношении двухбуквенных кодов, кодов языков и других сокращений см «Пояснения к кодам и сокращениям», публикуемые в начале каждого очередного выпуска Бюллетеня РСТ.

(54) Title: METHOD FOR PRODUCING CERAMIC NUCLEAR FUEL TABLETS, DEVICE AND CONTAINER FOR CARRYING OUT SAID METHOD

(54) Название изобретения: СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТАБЛЕТОК КЕРАМИЧЕСКОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА, УСТАНОВКА И КОНТЕЙНЕР ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

(57) Abstract: The invention relates to nuclear engineering. The inventive method for producing ceramic nuclear fuel tablets consists in preparing, granulating and pressing a moulding powder and in sintering the thus obtained tablets. The preparation stage consisting in grinding and mixing is carried out by means of ferromagnetic needles (7) in a container (4) under magnetic field action. The inventive device for preparing the moulding powder comprises a protective chamber (12), a grinding and mixing unit embodied in the form of an inductor coil (10). A tube (9) which is made of a non-magnetic material and in which the container (4) is arranged is introduced into the inductor coil (10). Said device also comprises a powder granulation unit, a container conveying and positioning system provided with elements for vertically displacing (8, 13) and turning (14) said container. The protective chamber (12) is embodied in the form of a circuit in such a way that the container (4) is displaceable therein. Said container (4) is made of a non-magnetic material in the form of a cylinder and provided on the end surface thereof with a valve (6) which is connected to a cylindrical tank (21) by means of a flange joint (25a, 25b). The valve (6) has an internal cavity which is separated from the cylindrical tank by a transversal mesh partition (26) impenetrable for the ferromagnetic needles (7) Said invention is characterised in that it improves the powder mixing efficiency.



BEST AVAILABLE COPY

[Продолжение на след. странице]

WO 2005/031756 A1

(57) Реферат: Изобретение относится к области атомной техники. Способ изготовления таблеток керамического ядерного топлива включает стадии подготовки пресс порошка, его гранулирования, прессования и спекания полученных таблеток. Стадию подготовки, включающую измельчение и смешивание, осуществляют ферромагнитными иглами (7) в контейнере (4) под воздействием магнитного поля. Устройство подготовки пресс-порошка содержит защитную камеру (12), узел измельчения и смешивания, выполненный в виде индуктора с катушкой (10). Труба (9) из немагнитного материала, в которой помещен контейнер (4), введена в катушку (10) индуктора. Устройство также включает узел гранулирования порошка, систему транспортирования и позиционирования контейнера, снабженные элементами для его вертикального перемещения (8), (13) и переворота (14). Защитная камера (12) выполнена в виде контура с возможностью кольцевого перемещения в нем контейнера (4). Контейнер (4) выполнен из немагнитного материала в виде цилиндра. Он имеет на торце клапан (6), соединенный с цилиндрической емкостью (21) с помощью фланцевого соединения (25a), (25b). Клапан (6) имеет внутреннюю полость, отделенную от цилиндрической емкости непроницаемой для ферромагнитных игл (7) поперечной сетчатой перегородкой (26). Преимущество изобретения заключается в повышении эффективности смешивания порошков.

1AP23 R. 600000 10/5740923 MAR 2006

**Способ изготовления таблеток керамического ядерного топлива,
установка и контейнер для его осуществления**

Область техники

Изобретение относится к области атомной техники и может быть
5 использовано для получения гомогенного ядерного топлива из смеси
керамических порошков делящихся компонентов и различных добавок
для ядерных реакторов на быстрых и тепловых нейтронах. В частности,
изобретение может быть использовано в технологии изготовления
таблеток керамического ядерного топлива (далее — таблеток) для
10 производства тепловыделяющих элементов (далее — ТВЭлов),
используемых в активных зонах атомных реакторов электростанций,
например, таблеток из диоксидов урана и плутония (далее - смешанного
топлива) с содержанием различных добавок от 0,05 мас. %.

Предшествующий уровень техники

15 Технология изготовления таблеток состоит из стадий подготовки
пресс-порошка, прессования таблеток и их спекания. При изготовлении
таблеток из нескольких компонентов, например, из оксидов урана и
плутония, подготовка пресс-порошка включает операцию измельчения и
смешивания исходных порошков. От этой операции зависят основные
20 характеристики готовых таблеток: однородность твердого раствора,
плотность, размер зерна, микроструктура и др., которые определяют
работоспособность ядерного топлива в реакторе.

Известен способ получения таблеток смешанного топлива, состоящий из подготовки пресс-порошка путем смешивания исходных порошков оксидов урана и плутония, прессования полученной смеси и спекания полученных таблеток [заявка РСТ 96/25746, МПК G 21 C 3/62, публ. 22.08.96]. В соответствии с этим способом подготовку пресс-порошка проводят путем измельчения и смешивания компонентов в

шаровой мельнице. Недостатком этого способа является низкая эффективность измельчения и смешивания порошков. Вследствие этого в структуре спеченных таблеток наблюдается наличие двух фаз и не достигается требуемая гомогенность смешанного топлива. Такие
5 таблетки плохо растворяются в азотной кислоте, что усложняет реализацию замкнутого топливного цикла.

Известен также способ изготовления таблеток для твэлов реакторов на тепловых нейтронах из $(U,Pu)O_2$, включающий предварительное перемешивание порошков оксидов урана и плутония в
10 V-образном смесителе и размол смеси в течение 20 часов в шаровой или молотковой мельнице с последующими операциями гранулирования полученной смеси, прессования и спекания таблеток [Решетников Ф.Г., Бибилашвили Ю.К. и др. Разработка, производство и эксплуатация тепловыделяющих элементов энергетических реакторов. Кн. 1. -М.:
15 Энергоатомиздат, 1995, с. 110]. Этот способ также имеет невысокую эффективность измельчения и перемешивания порошков, что не позволяет обеспечивать требуемую гомогенность смешанного топлива. Процесс характеризуется низкой производительностью и сложностью обеспечения ядерной безопасности технологических процессов. Кроме
20 того, длительность операции измельчения и смешивания порошков приводит к значительному износу мелющих тел и стенок смесителя и загрязнению пресс-порошка вредными примесями.

Известен способ получения гомогенного ядерного топлива из смеси диоксидов урана и плутония для изготовления таблеток,
25 включающий стадии подготовки пресс-порошка в вихревом слое, гранулирования и спекания таблеток [патент RU №2122247, МПК6 G 21C 21/00]. Вихревой слой в рабочем объеме смесителя цилиндрической формы создается за счет интенсивного движения

магнитных игл под действием переменного магнитного поля. Под воздействием игл происходит перемешивание и измельчение порошков, а также активация частиц порошковой смеси. Этот способ является наиболее близким к заявляемому способу и выбран в качестве
5 прототипа.

Известно устройство для осуществления способа – прототипа, которое состоит из индуктора с катушкой в форме цилиндра с центральным отверстием, ось которого расположена горизонтально. Внутрь полости катушки введена труба из немагнитного материала для
10 размещения герметичного цилиндрического контейнера из немагнитного материала, например, титана, в контейнере размещены смешиваемые порошки и иглы из ферромагнитного материала [патент RU №2122247, МПК6 G 21 C 21/00]. Для увеличения эффективности процессов измельчения и перемешивания устройство снабжено
15 средством для возвратно-поступательного перемещения контейнера в трубе в горизонтальном направлении. Это устройство является наиболее близким к предлагаемому и выбрано в качестве прототипа.

Известен контейнер для измельчения и смешивания порошков, который выполнен в форме цилиндрического стакана с герметичной
20 крышкой цилиндрической формы, стакан и крышка выполнены из немагнитного материала [патент RU №2122247, МПК6 G 21 C 21/00]. Этот контейнер является наиболее близким к предлагаемому и выбран в качестве прототипа.

Стадия подготовки пресс-порошка, осуществляемая в
25 соответствии со способом – прототипом и с помощью описанных выше устройства и контейнера, включает следующие операции: загрузку доз исходных порошков диоксидов урана, плутония и иницирующих размол веществ, а также ферромагнитных игл в стакан контейнера;

герметизацию контейнера с помощью съемной крышки; перемещение контейнера с порошками и иглами в полость горизонтальной трубы, помещенной внутрь катушки индуктора; измельчение и смешивание порошков под воздействием ферромагнитных игл, движущихся в магнитном поле индуктора при возвратно-поступательных перемещениях контейнера в трубе; извлечение контейнера из трубы; охлаждение контейнера с содержимым; снятие крышки и выгрузку полученной порошковой смеси и игл; отделение порошка от игл, загрузку его в аппарат гранулирования. Загрузку доз порошков диоксидов урана и плутония в стакан контейнера производят в количестве 50 - 70% объема стакана, а массу загружаемых магнитных игл задают не более половины от величины критической массы, при которой иглы прекращают вращаться в электромагнитном поле смесителя. Геометрическая форма и соотношение геометрических размеров ферромагнитных игл при использовании способа имеют существенное значение, так, например, отношение длины иглы к ее диаметру должно изменяться в пределах от 8 до 14. При загрузке исходных порошков в контейнер могут также вводиться специальные добавки, например, выгорающие поглотители нейтронов.

Описанная выше операция подготовки пресс-порошка имеет недостаточную эффективность перемешивания и измельчения порошков по изложенным ниже причинам. Зона вращения переменного магнитного поля индуктора, под действием которого движутся иглы из ферромагнитного материала, существенно меньше высоты цилиндрического контейнера. При проведении операции значительная часть порошка при этом оказывается вне рабочей зоны действия электромагнитного поля на ферромагнитные иглы, так как порошок распределяется слоем по всей длине горизонтально расположенного

контейнера. Поэтому в процессе перемешивания порошков приходится осуществлять возвратно-поступательные перемещения контейнера в горизонтальной трубе с определенной амплитудой. В этом случае условия измельчения и смешивания порошков в торцевых зонах контейнера существенно отличаются от условий в его центре, что снижает эффективность процесса, ведет к увеличению времени операции и к ухудшению характеристик получаемой смеси. Кроме того, такой процесс состоит из большого числа элементарных операций (например, отделение порошка от игл, загрузка игл в контейнер, перемещение контейнера) и с трудом поддается автоматизации, которая имеет большое значение для обеспечения безопасности производства смешанного ядерного топлива.

Еще одним недостатком известного способа является низкая эффективность охлаждения контейнера в процессе измельчения и смешивания из-за горизонтального размещения контейнера в трубе и существенного снижения эффективности конвективного охлаждения контейнера с порошком. В результате этого после обработки порошков в соответствии со способом-прототипом в течение 6-10 мин, контейнер нагревается до температуры около 100 °С, что увеличивает время охлаждения контейнера до его разгерметизации и опорожнения.

Раскрытие изобретения

Основной целью изобретения является повышение эффективности процесса измельчения и смешивания порошков и достижение требуемых характеристик порошковой смеси, необходимых для получения гомогенного смешанного ядерного топлива различного состава, например, содержащего высокофоновый регенерированный плутоний или различные добавки в количестве от 0,05 мас. %.

Поставленная цель достигается тем, что в известном способе изготовления гомогенного ядерного топлива в форме таблеток из порошковой смеси (включающем стадии подготовки пресс-порошка, его гранулирования, прессования и спекания полученных таблеток, в котором стадия подготовки пресс-порошка включает следующие операции: загрузку доз порошков исходных компонентов и иницирующего размол вещества в контейнер из немагнитного материала; герметизацию контейнера; перемещение контейнера с порошками и ферромагнитными иглами в полость трубы из немагнитного материала, помещенной внутрь катушки индуктора; измельчение и смешивание порошков под воздействием ферромагнитных игл, движущихся в магнитном поле индуктора; извлечение контейнера из трубы; охлаждение контейнера; разгерметизацию контейнера и выгрузку полученной порошковой смеси из контейнера в аппарат гранулирования) в полости контейнера формируют рабочую зону цилиндрической формы, в которой постоянно размещают ферромагнитные иглы, и торцевую зону, зоны разделяют между собой непроницаемой для игл сетчатой перегородкой, загрузку доз порошков в рабочую зону проводят через торцевую зону и сито, контейнер на высоту его рабочей зоны вводят в полость трубы, размещенной вертикально внутри катушки индуктора, обработку порошков проводят при движении игл в рабочей зоне, а выгрузку полученной порошковой смеси из контейнера осуществляют через сетчатую перегородку и торцевую зону без выгрузки ферромагнитных игл из рабочей зоны.

В частном варианте выполнения способа массу загружаемых ферромагнитных игл задают от 2,5 % до 90% от величины критической

массы, при увеличении которой иглы не вращаются в электромагнитном поле смесителя.

В другом частном варианте выполнения способа величину критической массы ферромагнитных игл рассчитывают по формуле:

5
$$m_{кр} = K_{кр} \cdot V_{к} \cdot \rho_{и},$$

где $K_{кр}$ — коэффициент критичности загрузки смесителя иглами; $V_{к}$ — внутренний объем контейнера, соответствующий высоте зоны вращения электромагнитного поля; $\rho_{и}$ — плотность игл.

В другом частном варианте выполнения способа общий объем
10 загружаемых в контейнер керамических порошков задают не более 90% от его свободного объема, приходящегося на зону вращения электромагнитного поля.

В частном варианте выполнения способа используют ферромагнитные иглы, отношение длины которых к их диаметру
15 изменяется в пределах от 8 до 14.

В другом частном варианте выполнения способа отношение суммарной массы керамических порошков к массе магнитных игл задают в пределах от 0,3 до 3,0, преимущественно от 0,5 до 2,0.

В другом частном варианте выполнения способа частоту
20 вращения электромагнитного поля задают в пределах 10-50 Гц.

В другом частном варианте выполнения способа измельчение и смешивание порошков проводят в течение 1-20 минут.

В другом частном варианте выполнения способа измельчение и смешивание порошков проводят за несколько циклов длительностью 1-
25 10 минут.

В другом частном варианте выполнения способа все операции стадии подготовки пресс-порошка проводят в инертной газовой атмосфере.

Поставленная цель достигается также тем, что в известном устройстве подготовки пресс-порошка для осуществления способа (состоящем из защитной камеры, узла загрузки в контейнер доз исходных порошков и инициирующего размол вещества; узла измельчения и смешивания порошков, который выполнен в виде индуктора с катушкой, внутрь которой введена труба из немагнитного материала для размещения герметичного контейнера из немагнитного материала с порошками и иглами из ферромагнитного материала; узла гранулирования порошка, а также системы транспортирования и позиционирования контейнера) узел измельчения и смешивания порошков выполнен с вертикальным расположением осей индуктора и трубы, труба заглушена с нижнего торца и образует собой фрагмент защитной камеры, защитная камера выполнена в виде контура с возможностью перемещения в нем контейнера от узла загрузки к узлу измельчения и смешивания затем к узлу гранулирования, а затем к узлу загрузки, контур защитной камеры образован технологическими боксами для размещения узлов устройства и транспортными боксами, а система транспортирования и позиционирования контейнера снабжена элементами для его вертикального перемещения в зонах узла загрузки и узла измельчения и смешивания, а также для его переворота с целью выгрузки порошка в зоне узла гранулирования смеси.

В другом частном варианте выполнения устройства защитная камера заполнена инертной газовой атмосферой.

В другом частном варианте выполнения устройства защитная камера снабжена транспортным боксом для вывода контейнера из контура.

В другом частном варианте корпус защитной камеры функционально совмещен с несущим каркасом конструкции установки.

В другом частном варианте выполнения устройства индуктор с катушкой размещен снаружи защитной камеры.

Поставленная цель достигается также тем, что в известном контейнере для осуществления способа (выполненном в форме цилиндрической емкости из немагнитного материала с узлом герметизации на торце) узел герметизации выполнен в форме клапана с внутренней полостью, которая отделена от цилиндрической емкости контейнера непрозрачной для ферромагнитных игл поперечной сетчатой перегородкой, причем клапан соединен с цилиндрической емкостью с помощью фланцевого соединения.

В частном варианте выполнения контейнера фланцевое соединение выполнено разъемным.

В другом частном варианте выполнения контейнера клапан выполнен в форме шарового крана, на котором смонтирован привод механизма для его вращения.

В другом частном варианте выполнения контейнера фланцевое соединение снабжено платформой для фиксации и позиционирования контейнера.

В другом частном варианте цилиндрическая внутренняя поверхность емкости имеет галтельный переход к плоскому днищу.

Краткое описание графических материалов

Сущность изобретения поясняется четырьмя иллюстрациями.

На фиг. 1 приведена схема, иллюстрирующая осуществление

предлагаемого способа с помощью заявляемых установки и контейнера.

На фиг. 2 приведена принципиальная схема защитной камеры.

На фиг. 3 приведен общий вид заявляемого контейнера.

На фиг. 4 приведены данные по размеру зерна *a* и распределению
5 концентрации плутония по поверхности шлифа *b* для заявляемого
способа, а также соответствующие данные *c* и *d* для способа –
прототипа.

Варианты осуществления изобретения

Осуществление способа и принцип действия установки поясняется
10 схемой, представленной на фиг. 1.

В узле загрузки исходные порошки 1, например порошки
диоксидов урана и плутония, инициирующее размол вещество и другие
добавки из дозаторов 2, поступают в рабочую зону 3 контейнера 4, через
торцевую зону 5 клапана 6 и сетчатую перегородку (на фиг. 1 не
15 показана). В рабочей зоне 3 контейнера 4 постоянно содержатся
ферромагнитные иглы 7. Контейнер 4 при помощи системы
транспортирования и позиционирования 8 перемещают в узел
измельчения и смешивания к вертикальной трубе 9, которая введена в
катушку 10 вихревого электромагнитного смесителя. На нижнем торце
20 трубы 9 установлена заглушка 11. Труба 9 в зоне своего верхнего
открытого торца закреплена на стенке защитной камеры 12 и является
фрагментом этой камеры. (Геометрия защитной камеры на фиг. 1
показана условно, общий вид варианта геометрии камеры приведен на
фиг. 2). Контейнер 4 при помощи элемента 13 вертикально перемещают
25 вниз по оси трубы 9 и фиксируют в ней так, чтобы рабочая зона 3
контейнера совпадала с рабочей зоной катушки 10 смесителя. В катушке
10 смесителя возбуждается переменное электромагнитное поле заданной

частоты вращения, которое воздействует на ферромагнитные иглы 7. Иглы под воздействием переменного магнитного поля совершают сложные вращательные движения в рабочей зоне контейнера 4, измельчая и перемешивая порошковые компоненты. Затем контейнер 4 при помощи элемента 13 перемещают вверх и возвращают на транспортер системы 8, проводят охлаждение, перемещение контейнера к узлу гранулирования и переворачивают контейнер при помощи элемента 14, открывают клапан 6 и проводят выгрузку порошковой смеси 15 через сетчатую перегородку (на фиг. 1 не показана) и торцевую зону 5 в приемную воронку 16 узла гранулирования 17. При этом ферромагнитные иглы 7 остаются на сетчатой перегородке в рабочей зоне 3 контейнера. Затем контейнер 4 с ферромагнитными иглами 7 возвращают к узлу загрузки для новой дозировки исходных порошков. Полученную смесь порошков подвергают гранулированию, прессованию и спеканию известными способами.

Общий вид варианта геометрии защитной камеры приведен на фиг. 2. Камера выполнена в виде контура с возможностью перемещения в нем контейнеров по кольцевому маршруту: узел загрузки - узел измельчения и смешивания - узел гранулирования - узел загрузки. Контур защитной камеры образован технологическими боксами 18 для размещения узлов устройства и транспортных боксов 19, предназначенных для перемещения и позиционирования контейнеров в контуре. Защитная камера снабжена дополнительным транспортным боксом 20 для ввода и удаления контейнеров из контура.

Контейнер (см. фиг. 3) состоит из цилиндрической емкости 21, выполненной из немагнитного материала, например, из титана, узла герметизации, выполненного в виде клапана 6, например, с шаровым

сердечником 22, сердечник снабжен приводом 23 его поворота во внутренней полости 24 клапана 6. Клапан 6 выполнен из немагнитного материала, например нержавеющей стали. Клапан 6 и цилиндрическая емкость 21 соединены между собой с помощью фланцевого соединения 5 25a и 25b и разделены поперечной сетчатой перегородкой 26, которая непроницаема для ферромагнитных игл. Фланцевое соединение 25a и 25b может быть выполнено разъемным для замены ферромагнитных игл (на фиг. 3 не показаны) или сетчатой перегородки 26. Контейнер снабжен платформой 27 для фиксации и позиционирования контейнера.

10 Для уменьшения сопротивления вращению игл и исключения возможности образования застойных зон цилиндрическая внутренняя поверхность емкости сопрягается с ее плоским дном галтельным переходом 28.

При практической реализации заявляемого способа получены 15 эмпирические зависимости, позволяющие повысить эффективность процесса измельчения и смешивания исходных порошков. Установлено существенное влияние размера игл и массы их загрузки в контейнер на процесс измельчения и смешивания порошков. Наиболее эффективно процессы измельчения и смешивания протекают при отношении длины 20 игл к их диаметру от 8 до 14.

Отношение массы загружаемых игл к массе исходных порошков также влияет на протекание процесса. Величину этого отношения ограничивают заданная производительность процесса смешения, натирание нежелательных примесей и масса критической загрузки 25 рабочего контейнера иглами $m_{кр}$. Значение $m_{кр}$ рассчитывали по формуле:

$$m_{кр} = K_{кр} \cdot V_k \cdot \rho_u,$$

где $K_{кр}$ —коэффициент критичности загрузки смесителя иглами; V_k —
внутренний объем контейнера, приходящийся на высоту зоны вращения
электромагнитного поля; ρ_u —плотность материала игл. Величина $K_{кр}$
определяется экспериментально для каждого типа игл и равна
5 отношению объема контейнера, находящегося в зоне действия
электромагнитного поля, к объему всех загруженных игл, при котором
они прекращают движение.

Экспериментально установлены условия минимального
натираания железа в зависимости от загрузки магнитных игл, от времени
10 обработки и материала игл. Рекомендовано использование
ферромагнитных игл из подшипниковой стали ШХ-15 или ШХ-45 с
размерами: диаметр $d = 0,2$ см, длина $l = 2$ см. Для таких игл
коэффициент критичности загрузки $K_{кр} = 0,1$. Применяли контейнер с
внутренним объемом, находящимся в зоне вращения электромагнитного
15 поля, $V_k = 2713 \text{ см}^3$ (является максимальным для применявшегося
смесителя ABC-150 с длиной рабочей зоны $L = 24$ см и максимально
допустимым диаметром контейнера $D = 12$ см). Плотность материала игл
 $\rho_u \approx 7,5 \text{ г/см}^3$.

Максимально возможное по фактору загрязнения порошков
20 примесями значение отношения f массы игл к массе порошка равно 2.
Минимально допустимое значение f определяется эффективностью
измельчения и равно 0,3. Расчетное значение $m_{кр} \approx 1800$ г.
Рекомендуемый диапазон величины загрузки рабочего контейнера
порошком составляет от 0,6 до 3,6 кг, причем загружать контейнер
25 порошком можно не более, чем на 90% от его свободного объема,
приходящегося на зону действия электромагнитного поля.

Экспериментально установлено, что при снижении частоты
вращения электромагнитного поля с 50 до 30 Гц эффективность

измельчения и смешивания порошков практически не изменяется, а температура внешних стенок титанового стакана контейнера после проведения операции снижается примерно на 50 °С.

В проведенных экспериментах с радиоактивными и пиррофорными порошками все операции подготовки пресс-порошка проводились в защитной камере с инертной атмосферой.

Примеры конкретного осуществления изобретения

Пример 1.

Получают таблетки смешанного уран-плутониевого топлива из исходных порошков диоксида урана, соответствующего ТУ 52 000-28, и диоксида плутония, соответствующего ТУ 95.2-79, а также стеарата цинка, взятых в количестве, соответственно, 95 г, 5 г и 0,2 г и общей массой исходных порошков 100,2 г. Процесс измельчения и смешивания порошков ведут в контейнере из титана с диаметром рабочей зоны 12 см и высотой 24 см с использованием игл из стали ШХ-15 диаметром 0,2 см и длиной 2 см, с использованием вихревого смесителя, имеющего длину рабочей зоны 24 см и диаметр отверстия для размещения контейнера 13 см.

Определяют критическую массу загрузки рабочего контейнера иглами $m_{кр}$ по формуле:

$$m_{кр} = K_{кр} \cdot V_k \cdot \rho_u,$$

где $K_{кр}$ —коэффициент критичности загрузки смесителя иглами, равный 0,1; V_k —внутренний объем контейнера, приходящийся на высоту зоны вращения электромагнитного поля, равный 2713 см³; ρ_u —плотность материала игл, равная 7,5 г/см³, и получают значение $m_{кр}$, равное 2000 г. Загружают в контейнер иглы общей массой 200 г, при этом отношение массы игл к массе порошка составит 2, а объем порошка в контейнере

~50 см³, что составляет ~1,9 % от свободного объема контейнера, приходящегося на зону действия электромагнитного поля. Устанавливают на цилиндрическую емкость сетчатую перегородку из латуни с размером сита 1 мм. Устанавливают на цилиндрическую
5 емкость с перегородкой узел герметизации в форме шарового клапана типа ДУ-120 и герметизируют фланцевое соединение контейнера. В заполненной аргоном защитной камере загружают в рабочую зону контейнера через внутреннюю полость клапана и сетчатую перегородку описанные выше дозы исходных порошков. Герметизируют контейнер и
10 проводят измельчение и смешивание порошков в вихревом смесителе ABC-150 при частоте вращения электромагнитного поля 30 Гц за один цикл продолжительностью 4 мин. Затем контейнер охлаждают в течение 5 мин и выгружают порошковую смесь в аппарат гранулирования типа L200/30P. Полученный гранулят прессуют в сырые таблетки диаметром
15 ~7,2 мм, высотой ~6 мм и плотностью 6,5 г/см³. Полученные таблетки спекают в аргоно-водородной среде при температуре 1750°C в течение 3 ч.

Проводят исследование полученных таблеток с помощью электронного сканирующего микроскопа и металлографическим
20 методом. Сравнительные результаты исследования таблеток, полученных с использованием заявляемого изобретения и способа – прототипа, представлены на фиг. 4. Полученные результаты показывают, что при подготовке пресс-порошка по предлагаемому способу обеспечивается гомогенная структура твердого раствора (U,Pu)O₂
25 смешанного топлива с равномерным распределением компонентов по объему таблетки (см. данные а и в на фиг. 4), и эти данные существенно выше, чем соответствующие показатели у способа прототипа (см. с и d на фиг. 4). При этом обеспечивается полная растворимость таблеток

такого топлива в азотной кислоте, которая имеет большое значение при проведении процессов регенерации смешанного топлива.

Пример 2.

Получают таблетки смешанного уранового топлива скорректированного обогащения из исходных порошков диоксида обедненного урана (содержание U-235 0,24 %) и диоксида высокообогащенного урана (содержание U-235 90%) марки ТУ 95.604-84, а также стеарата цинка коммерческого происхождения, взятых в количестве, соответственно, 99,95 г, 0,05 г, и 0,2 г и общей массой исходных порошков 100,2 г.

Затем проводят подготовку пресс-порошка, прессование и спекание таблеток, как это описано в примере 1.

Проводят исследование полученных таблеток с помощью металлографического анализа и гамма-спектрометрическим методом. Среднее содержание изотопа U-235 в таблетках составило 0,28 %, среднее квадратичное отклонение концентрации U-235 по десяти образцам составило 0,004 %.

Промышленная применимость

Результаты исследования таблеток, полученных с использованием заявляемого изобретения, показывают, что при подготовке пресс-порошка по предлагаемому способу обеспечивается гомогенная структура смешанного топлива с равномерным распределением компонентов по объему таблетки.

Таким образом, использование предлагаемого способа получения гомогенного ядерного смешанного топлива на практике позволит получить существенные преимущества по сравнению с известными способами. Такими преимуществами являются: повышение гомогенности и существенное увеличение размера зерна в таблетках

смешанного керамического топлива; эффективное использование активной зоны электромагнитного смесителя, которая может быть загружена до 90 % ее объема порошком и иглами; сокращение длительности измельчения и смешивания исходных порошков за счет
5 интенсификации процессов в рабочей зоне вертикально расположенного контейнера; простота создания на базе патентуемой технологии автоматизированной высокопроизводительной установки производства смешанного керамического топлива; простота обеспечения ядерной безопасности технологических процессов.

10

15

20

25

30

Формула изобретения

1. Способ изготовления таблеток керамического ядерного топлива, включающий стадии подготовки пресс-порошка, его гранулирования, прессования и спекания полученных таблеток, стадия
- 5 подготовки пресс-порошка включает операции загрузки доз порошков исходных компонентов и инициирующего размол вещества в контейнер из немагнитного материала, герметизации контейнера, перемещения контейнера с порошками и ферромагнитными иглами в полость трубы из немагнитного материала, помещенной внутри катушки индуктора,
- 10 измельчения и смешивания порошков под воздействием ферромагнитных игл, движущихся в магнитном поле индуктора, извлечения контейнера из трубы, охлаждения контейнера, разгерметизации контейнера и выгрузки полученной порошковой смеси из контейнера в аппарат гранулирования, отличающийся тем, что в
- 15 полости контейнера формируют рабочую зону цилиндрической формы, в которой постоянно размещают ферромагнитные иглы, и торцевую зону, зоны разделяют между собой непроницаемой для игл сетчатой перегородкой, загрузку доз порошков в рабочую зону проводят через торцевую зону и сетчатую перегородку, контейнер на высоту его
- 20 рабочей зоны вводят в полость трубы, размещенной вертикально внутри катушки индуктора, обработку порошков проводят при движении игл в рабочей зоне, а выгрузку полученной порошковой смеси из контейнера осуществляют через сетчатую перегородку и торцевую зону без выгрузки ферромагнитных игл из рабочей зоны.
- 25 2. Способ по п.1, отличающийся тем, что массу загружаемых ферромагнитных игл задают от 2,5 % до 90% от величины критической массы, при увеличении которой иглы не вращаются в электромагнитном поле смесителя.

3. Способ по п.2, отличающийся тем, что величину критической массы ферромагнитных игл рассчитывают по формуле:

$$m_{кр} = K_{кр} \cdot V_{к} \cdot \rho_{и},$$

5 где $K_{кр}$ – коэффициент критичности загрузки смесителя иглами; $V_{к}$ – внутренний объем контейнера, приходящийся на зону вращения электромагнитного поля; $\rho_{и}$ – плотность игл.

4. Способ по п.1, отличающийся тем, что общий объем загружаемых в контейнер керамических порошков и игл задают не более 90% от его свободного объема, приходящегося на зону вращения
10 электромагнитного поля.

5. Способ по п.1, отличающийся тем, что используют ферромагнитные иглы, отношение длины которых к их диаметру изменяется в пределах от 8 до 14.

6. Способ по п.1, п. 2, п. 3 и п. 4, отличающийся тем, что
15 отношение суммарной массы керамических порошков к массе магнитных игл задают в пределах от 0,3 до 3,0, преимущественно от 0,5 до 2,0.

7. Способ по п.1, отличающийся тем, что частоту вращения электромагнитного поля задают в пределах 10-50 Гц.

20 8. Способ по п.1, отличающийся тем, что измельчение и смешивание порошков проводят в течение 1-20 минут.

9. Способ по п.8, отличающийся тем, что измельчение и смешивание порошков проводят за несколько циклов длительностью 1-10 минут.

25 10. Способ по п.1, отличающийся тем, что все операции стадии подготовки пресс-порошка проводят в инертной газовой атмосфере.

11. Устройство подготовки пресс-порошка для осуществления способа, включающее защитную камеру, узел загрузки в контейнер доз исходных порошков и инициирующего размол вещества; узел измельчения и смешивания порошков, который выполнен в виде индуктора с катушкой, внутрь которой введена труба из немагнитного материала для размещения герметичного контейнера из немагнитного материала с порошками и иглами из ферромагнитного материала; узел гранулирования порошка, а также систему транспортирования и позиционирования контейнера, отличающееся тем, что узел измельчения и смешивания порошков выполнен с вертикальным расположением осей индуктора и трубы, труба заглушена с нижнего торца и образует собой фрагмент защитной камеры, защитная камера выполнена в виде контура с возможностью кольцевого перемещения в нем контейнера от узла загрузки к узлу измельчения и смешивания, затем к узлу гранулирования, а затем к узлу загрузки, контур защитной камеры образован технологическими боксами для размещения узлов устройства и транспортными боксами, а система транспортирования и позиционирования контейнера снабжена элементами для его вертикального перемещения по оси трубы и для его переворота в зоне узла гранулирования смеси.

12. Устройство по п. 11, отличающееся тем, что защитная камера заполнена инертной газовой атмосферой.

13. Устройство по п. 11, отличающееся тем, что защитная камера снабжена транспортным боксом для вывода контейнера из контура.

14. Устройство по п. 11, отличающееся тем, что корпус защитной камеры функционально совмещен с несущим каркасом конструкции установки.

15. Устройство по п. 11, отличающееся тем, что индуктор с катушкой размещен снаружи защитной камеры.

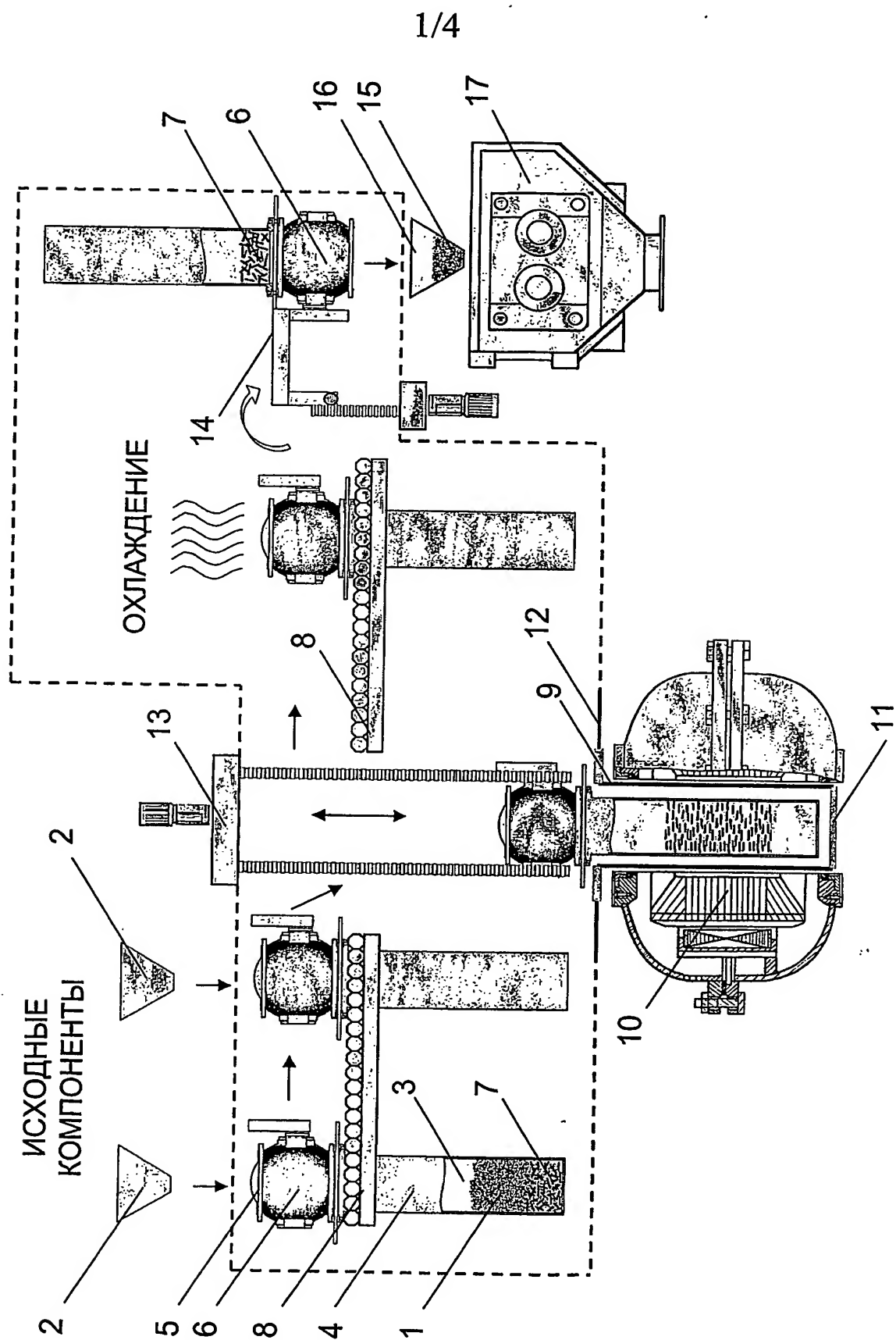
16. Контейнер для осуществления способа, выполненный в форме цилиндрической емкости из немагнитного материала с узлом герметизации на торце, отличающийся тем, что узел герметизации выполнен в форме клапана с внутренней полостью, которая отделена от цилиндрической емкости контейнера непроницаемой для ферромагнитных игл поперечной сетчатой перегородкой, причем клапан соединен с цилиндрической емкостью с помощью фланцевого соединения.

17. Устройство по п. 16, отличающееся тем, что фланцевое соединение выполнено разъемным.

18. Устройство по п. 16, отличающееся тем, что клапан выполнен в форме шарового крана, на котором смонтирован привод механизма для его вращения.

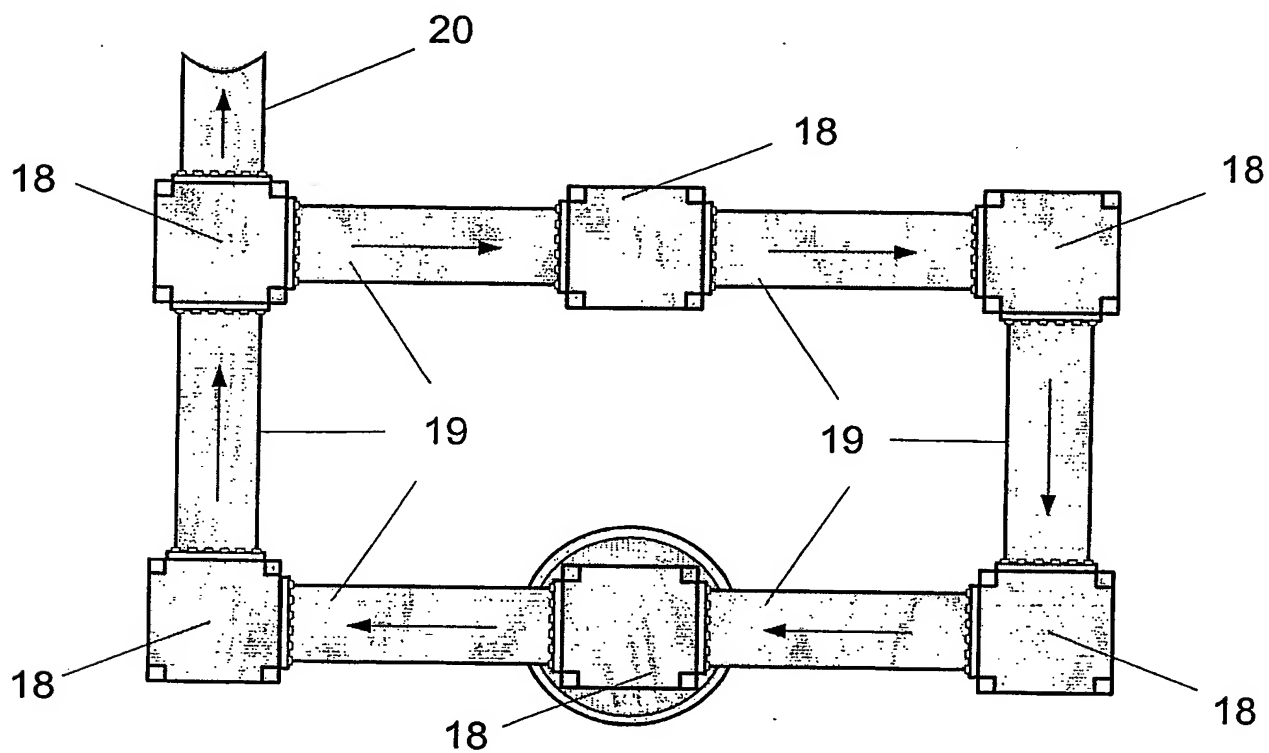
19. Устройство по п. 16, отличающееся тем, что фланцевое соединение снабжено платформой для фиксации и позиционирования контейнера.

20. Устройство по п. 16, отличающееся тем, что цилиндрическая часть емкости, относящаяся к рабочей зоне контейнера, с внутренней стороны имеет галтельный переход к плоскому днищу.



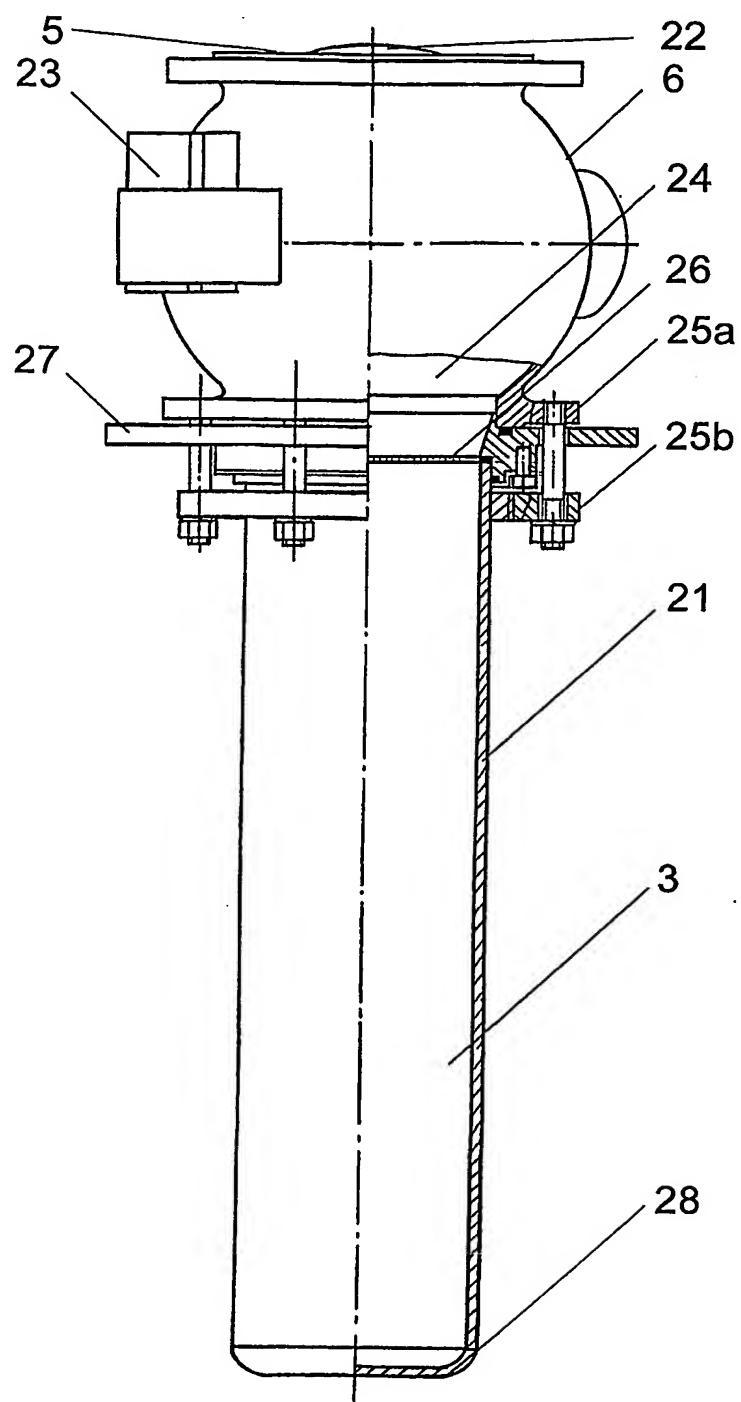
ФИГ. 1.

2/4



ФИГ. 2.

3/4



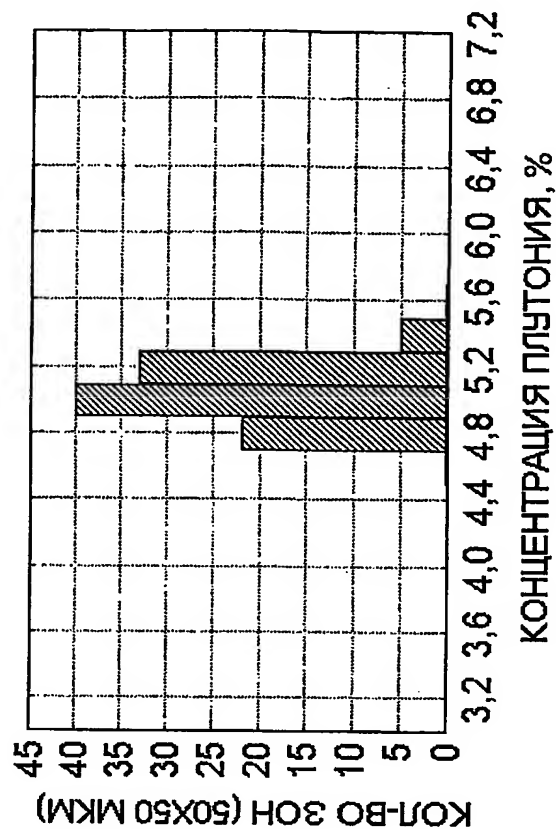
ФИГ. 3.

4/4



10 μm

c

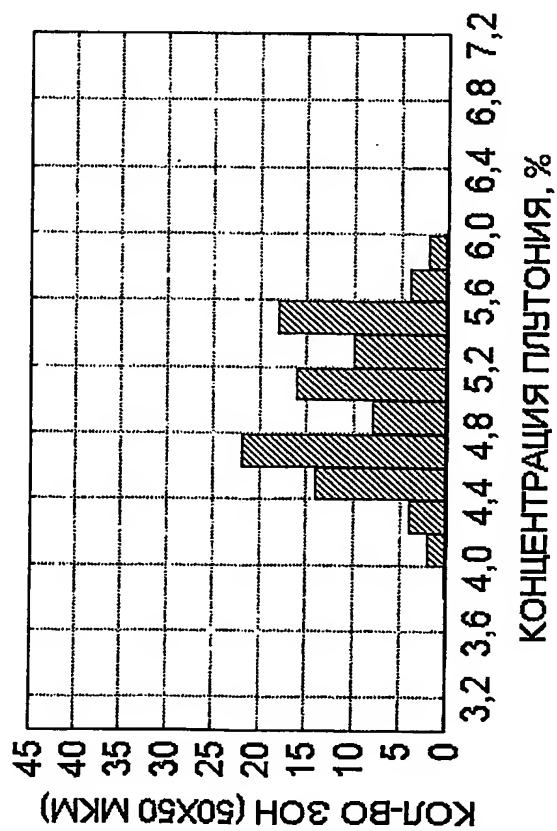


d



10 μm

a



b

ФИГ. 4.

ОТЧЕТ О МЕЖДУНАРОДНОМ ПОИСКЕ

Международная заявка №
PCT/RU 2003/000422

А. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРЕДМЕТА ИЗОБРЕТЕНИЯ: G21C 3/62,21/02 Согласно международной патентной классификации (МПК-7)		
В. ОБЛАСТИ ПОИСКА: Проверенный минимум документации (система классификации и индексы) МПК-7: G21C 3/00,3/02,3/42,3/58,3/62,21/00,21/02 Другая проверенная документация в той мере, в какой она включена в поисковые подборки: Электронная база данных, использовавшаяся при поиске (название базы и, если, возможно, поисковые термины):		
С. ДОКУМЕНТЫ, СЧИТАЮЩИЕСЯ РЕЛЕВАНТНЫМИ:		
Категория*	Ссылки на документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту №
A	RU 2122247 C1 (ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ "ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ НЕОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ им. акад. А. А. БОЧВАРА") 20.11.1998	1-20
A	RU 2183035 C2 (ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ НЕОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ им. акад. А. А. БОЧВАРА) 27.05.2002	1-20
A	GB 1371595 A (BELGONUCLEAIRE S. A.) 23.10.1974	1-10
A	US 4261934 A (ELECTRICK POWER RESEARCH INSTITUTE INC.) 14.04.1981	1-10
A	EP 0907186 A2 (DORYOKURO KAKUNENRYO KAIHATSU JIGYODAN) 07.04.1999	1-20
<input type="checkbox"/> последующие документы указаны в продолжении графы С. <input type="checkbox"/> данные о патентах-аналогах указаны в приложении		
* Особые категории ссылочных документов: A документ, определяющий общий уровень техники E более ранний документ, но опубликованный на дату международной подачи или после нее O документ, относящийся к устному раскрытию, экспонированию и т.д. P документ, опубликованный до даты международной подачи, но после даты испрашиваемого приоритета и т.д. T более поздний документ, опубликованный после даты приоритета и приведенный для понимания изобретения X документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска, порочащий новизну и изобретательский уровень Y документ, порочащий изобретательский уровень в сочетании с одним или несколькими документами той же категории & документ, являющийся патентом-аналогом		
Дата действительного завершения международного поиска: 28 апреля 2004 (28.04.2004)		Дата отправки настоящего отчета о международном поиске: 03 июня 2004 (03.06.2004)
Наименование и адрес Международного поискового органа Федеральный институт промышленной собственности РФ, 123995, Москва, Г-59, ГСП-5, Бережковская наб., 30,1 Факс: 243-3337, телетайп: 114818 ПОДАЧА		Уполномоченное лицо: М. Гордеева Телефон № 240-25-91

Форма PCT/ISA/210 (второй лист)(июль 1998)